

ÍTALO BITTENCOURT SARMENTO

**Análise de manifestações patológicas: Estudo de caso da estrutura
da Rodoferroviária de Brasília.**

ÍTALO BITTENCOURT SARMENTO

**Análise de manifestações patológicas: Estudo de caso da estrutura
da Rodoferroviária de Brasília.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
um dos requisitos para a obtenção do diploma de
Engenharia Civil do UniCEUB – Centro
Universitário de Brasília.

Orientador: Nielsen José Dias Alves.

Brasília – DF
2019

ÍTALO BITTENCOURT SARMENTO

**Análise de manifestações patológicas: Estudo de caso da estrutura
da Rodoferroviária de Brasília.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
um dos requisitos para a obtenção do diploma de
Engenharia Civil do UniCEUB – Centro
Universitário de Brasília.

Orientador: Nielsen José Dias Alves.

Brasília, 05 de fevereiro de 2019.

Banca Examinadora

Eng^o Civil: Nielsen José Dias Alves
Orientador

Eng^a Civil: Gabriela de Athayde Duboc Bahia
Examinador Interno

Eng^o Civil: Jairo Furtado Nogueira
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, por ter iluminado meu caminho, guiando-me com sabedoria e me fortalecendo nos momentos difíceis da vida ao iniciar essa graduação.

Agradeço aos meus pais, Vivaldo e Jarlene, pelo incentivo durante os meus estudos, ensinando-me a lutar pelos meus sonhos com discernimento, persistência e humildade. Aos meus irmãos, Laís e Bruno, grandes amigos e conselheiros, que foram exemplos de conquistas, os quais me fizeram refletir em minhas decisões. À minha Avó Nieta, que sempre orou por mim e me serviu de exemplo de garra. Aos amigos e colegas da faculdade pelo companheirismo e demonstração de fé em todos os momentos, fazendo as manhãs e noites na faculdade valerem a pena.

Os momentos divertidos e/ou concentrados na aprendizagem permanecerão comigo para sempre.

Ao orientador, Nielsen, profissional de excelência e comprometido com o seu trabalho, meus agradecimentos pelo apoio na realização deste trabalho.

Sinceros agradecimentos aos professores e funcionários do UniCEUB, que se tornaram amigos e se dispuseram a me ajudar durante a minha jornada de estudos.

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes”.

(Albert Einstein)

RESUMO

O surgimento de patologias em estruturas de concreto tem aumentado cada vez mais, em sua grande maioria, inicia-se em função do tempo, em consequência do processo natural de envelhecimento conciliando a falta de manutenção, a deterioração do concreto acelera levando à edificação a situações drásticas.

As construções antigas vêm sofrendo com essas consequências. A deterioração precoce devido à má distribuição dos recursos para manutenção é o que mais acontece, somando a falta de fiscalização de pessoas responsáveis, podendo ocasionar grandes problemas que levam o desconforto aos usuários. A partir disso, este trabalho apresenta o uso da termografia com o propósito de mapear as regiões que apresentam necessidade de manutenção e, também, a aplicação da metodologia GDE/UnB para quantificar o grau de deterioração de estruturas de concreto, através dessas inspeções visuais e ensaios não destrutivos, em análise da Rodoferroviária de Brasília, foram diagnosticados os casos mais críticos do subsolo e do térreo, para se chegar a resultados satisfatórios.

Portanto, através deste estudo de caso, obteve parâmetros dos elementos que se encontram em pior estado, classificados em estado crítico e grave, sendo necessário tomar uma medida de intervenção aplicando uma manutenção preventiva para evitar o agravamento das anomalias existentes na edificação patrimonial de Brasília.

Palavra-chave: Manifestação patológica, inspeção visual, estrutura de concreto, deterioração, termografia.

ABSTRACT

The emerge of pathologies in structures of concrete has increased more, in its majority, starts as a function of time, in consequence of the natural process of aging reconciling with the lack of maintenance, the deterioration of concrete accelerates leading to edification of drastic situations.

The old constructions are the one suffering from this consequences. The precocious deterioration due to the poor distribution of resources for maintenance is what most happens, adding the lack of inspection of responsible employees, being able to cause major problems leading to the users discomfort. From this, this project introduces the use of thermography with the purpose of mapping the regions that presents needs of maintenance and, also, the application of the methodology GDE/UnB for quantify the degree of deterioration of concrete structures, through this visual inspections and rehearsals non destructive, was evaluated the “Rodoferroviária” of Brasília, witch was detected the most critical diagnosis of the subsoil and ground floor, achieving satisfactory results.

Therefore, through this case study, was reached the best solution to soften the diverse pathological manifestation existing in the patrimonial buildings of Brasília.

Keywords: Pathological manifestation, visual inspection, concrete structure, deterioration, thermography.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Principais causas de danos estruturais..... | 17 |
| Figura 2- Segregação na base de um pilar | 18 |
| Figura 3- Manchas e mofos causados pela alta umidade | 18 |
| Figura 4- Eflorescência em laje | 19 |
| Figura 5- Esfoliação em viga do subsolo..... | 20 |
| Figura 6- Armadura de aço expostas | 20 |
| Figura 7- Fissura em peça de concreto..... | 21 |
| Figura 8- Fissura em peça de concreto..... | 22 |
| Figura 9- Infiltração devido a tubulação e água da chuva | 23 |
| Figura 10- Estalactites devido a perda de pH..... | 24 |
| Figura 11- Carbonatação do Concreto | 25 |
| Figura 12- Carbonatação do Concreto 2 | 26 |
| Figura 13- Expansão do aço e deslocamento do concreto | 27 |
| Figura 14- Fluxograma para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura | 30 |
| Figura 15- Vida útil das estruturas de concreto | 37 |
| Figura 16- Espectro eletromagnético | 41 |
| Figura 17- Rodoferroviária de Brasília..... | 43 |
| Figura 18- Subsolo Rodoferroviária de Brasília..... | 45 |
| Figura 19- Térreo Rodoferroviária de Brasília | 45 |
| Figura 20- Laje principal do subsolo Real X Termográfica | 46 |
| Figura 21- Imagem Real X termográfica na laje do subsolo..... | 46 |
| Figura 22- Infiltração na base do pilar e grandes manchas de corrosão Real X Termográfica | 47 |
| Figura 23- Viga térreo Real x Termográfica | 48 |
| Figura 24- Estalactites na viga | 49 |
| Figura 25-Imagem real X imagem termográfica da viga do térreo em estado mais crítico..... | 49 |
| Figura 26- Poça d'água na viga canaleta devido ao entupimento | 50 |
| Figura 27- Corte do projeto enfatizando a viga canaleta..... | 50 |
| Figura 28- Pilar do térreo em pior estado Real X Termográfica | 51 |
| Figura 29- Grande infiltração devido a água da chuva..... | 54 |
| Figura 30- Segregação e manchas na laje..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 31- Carbonatação e fissuras na laje..... | 55 |
| Figura 32- Pilar do subsolo em estado crítico | 57 |
| Figura 33- Viga central Térreo com problemas graves | 58 |
| Figura 34- Anexo A1 | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Família de elementos estruturais Fp | 32 |
| Tabela 2- Classificação dos fatores de intensidade | 33 |
| Tabela 3- Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi) | 34 |
| Tabela 4- Continuação classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi) | 35 |
| Tabela 5- Fatores de Relevância Estrutural para estrutura | 36 |
| Tabela 6- Classificação dos níveis de deterioração do elemento | 38 |
| Tabela 7- Classificação dos níveis de deterioração da estrutura | 40 |
| Tabela 8- Laje | 53 |
| Tabela 9- Pilar | 56 |
| Tabela 10- Viga | 58 |
| Tabela 11- Deterioração dos elementos | 59 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

OAEs – Obra de Arte Especiais

H₂O – Água

CO₂ – Gás Carbônico

O₂ – Oxigênio

Ca(OH)₂ – Hidróxido de Cálcio

CaCO₃ – Carbonato de Cálcio

Ca – Cálcio

UnB – Universidade de Brasília

D – Grau de Dano

Gd – Grau de deterioração da Estrutura

Gde – Grau de deterioração da Estrutura

Gdf – Grau de deterioração de uma família

Di – Grau de dano di índice

Fi – Fator de intensidade do dano

Fp – Fator de ponderação do dano

Fr – Fator de relevância estrutural do elemento

Fg – Fator de gravidade do problema

PECC-UNB – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da UnB

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1.1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.2. OBJETIVO | 15 |
| 1.2.1. GERAL | 15 |
| 1.2.1. ESPECÍFICO..... | 15 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 16 |
| 2.1. CONCEITO | 16 |
| 2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS..... | 16 |
| 2.2.1. SEGREGAÇÃO | 17 |
| 2.2.2. MANCHAS | 18 |
| 2.2.3. EFLORESCÊNCIA | 19 |
| 2.2.4. ESFOLIAÇÃO | 19 |
| 2.2.5. DEFICIÊNCIA DE COBRIMENTO | 20 |
| 2.2.6. FISSURAS | 21 |
| 2.2.7. INFILTRAÇÕES | 22 |
| 2.3. CARBONATAÇÃO | 23 |
| 2.3.1. MANIFESTAÇÃO E CONSEQUÊNCIA | 26 |
| 2.3.2. COMO EVITAR | 27 |
| 2.4. METODOLOGIA GDE/UNB..... | 28 |
| 2.4.1. DIVISÃO EM FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS TÍPICOS..... | 30 |
| 2.4.2. FATOR DE PONDERAÇÃO (Fp) | 31 |
| 2.4.3. FATOR DE INTENSIDADE DO DANO (Fi)..... | 33 |
| 2.4.4. FATOR DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL (Fr) | 35 |
| 2.4.5. FATOR DE GRAVIDADE DO PROBLEMA (Fg)..... | 36 |
| 2.4.6. GRAU DO DANO (D) | 36 |
| 2.4.7. GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO (Gde) | 38 |
| 2.4.8. GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UMA FAMÍLIA (Gdf)..... | 39 |
| 2.4.9. GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (Gd)..... | 39 |
| 2.5. TERMOGRAFIA NA ENGENHARIA | 41 |
| 2.5.1. RADIAÇÃO INFRAVELHA | 41 |
| 2.5.2. CÂMERA TÉRMICA..... | 41 |
| 2.5.3. TERMOGRAFIA EM EDIFICAÇÕES | 42 |
| 3. METODOLOGIA | 43 |
| 4. ESTUDO DE CASO | 45 |
| 4.1. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB | 52 |
| 4.1.1. ELEMENTO LAJE SUBSOLO | 53 |
| 4.1.2. ELEMENTO PILAR SUBSOLO..... | 55 |
| 4.1.3. ELEMENTO VIGA TÉRREO | 57 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 59 |
| 5.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS. | 60 |
| REFERÊNCIAS..... | 61 |

1.1. INTRODUÇÃO

O termo Patologia, de origem grega “*pathos*”, comumente, usado na medicina, refere-se à especialidade que estuda as doenças e as alterações que estas provocam no organismo levando as alterações funcionais e consequentes sintomatologias. Neste contexto, há na construção civil, o termo “Patologia das Edificações” que estuda as manifestações anômalas (lesões, danos, defeitos e falhas) que podem vir a ocorrer em uma construção. O diagnóstico adequado de uma manifestação patológica deverá apontar as correções necessárias para solucionar o(s) problema(s), assim como, indicar as medidas que servirão para evitar tanto o seu aparecimento quanto a sua propagação. (NAZÁRIO E ZANCAN, 2011).

Segundo Giongo (2015), “o processo de manifestações patológicas, nas edificações, inicia-se em função do tempo, em consequência do processo construtivo ou do processo natural de envelhecimento. A análise do comportamento estrutural e de eventuais intervenções em construções existentes requerer, em geral, uma adequada inspeção prévia do local”.

O início da construção de Brasília ocorreu por volta de 1958, com o objetivo de transferir a capital do país do Rio de Janeiro para a região Centro-Oeste. Assim, Brasília foi projetada, planejada e inaugurada em 21 de abril de 1960.

“A maior parte de suas edificações são executadas, basicamente, em concreto armado”. (A Construção de Brasília, 2012)

Em Brasília, observa-se que o patrimônio público sofre com vários problemas, uma vez que, vêm se deteriorando precocemente, com grandes desperdícios de recursos e submetendo o desconforto aos usuários.

Neste caso, foi feita uma análise de uma edificação pertencente a União, que por alguns anos ficou desativada e, atualmente, abriga a SEJUS-DF. Planejada inicialmente em 1956, por Lúcio Costa, como estação ferroviária, começou a ser construída nos anos 70, idealizada por Oscar Niemayer, e inaugurada em 1976, mas devido à baixa utilização de passageiros, foi reinaugurada em 1981 sendo também uma rodoviária interestadual, passando a se chamar Rodoferroviária de Brasília.

Tendo isso, a Rodoferroviária de Brasília apresenta, externamente, diversas manifestações patológicas, apesar de ter uma estrutura robusta, não há manutenção na edificação desde a sua desativação. Desta maneira se fez uma avaliação para detectar o grau de deterioração da estrutura e o nível das anomalias.

Atualmente, existem várias técnicas para diagnosticar uma manifestação patológica. A metodologia GDE/UnB foi elaborada no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC-UnB), que tem como objetivo avaliar quantitativamente estruturas de concreto armado, chegando a resultado do estado de deterioração em que as estruturas se encontram.

Para a avaliação de uma estrutura já pronta, busca a utilização de ensaios não destrutivos ou inspeção visual, que irão auxiliar no diagnóstico das manifestações patológicas apresentadas pela estrutura.

Diante disso, o recurso adotado para a inspeção na Rodoferroviária de Brasília foi o uso da metodologia GDE/UnB para verificar o grau de deterioração da estrutura e a câmera térmica “*flir one*” para diagnosticar através de imagens termográficas, o ponto inicial das anomalias. Assim, a estrutura foi classificada, indicando a melhor necessidade de manutenção.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. GERAL

Avaliar o grau de deterioração, carbonatação e umidade da estrutura, proveniente de corrosão e fissuras, através do estudo de técnicas não destrutivas.

1.2.1. ESPECÍFICO

- Analisar a condição estrutural da edificação;
- Identificar as possíveis causas dessas manifestações patológicas, destacando suas características/consequências;
- Propor a manutenção necessária para amenizar a causa dessas manifestações patológicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEITO

Vida útil e durabilidade estão paralelamente ligadas, são relacionadas de acordo com o tempo, porém, não podem ser confundidas. Cada uma representa uma característica dentro da construção civil.

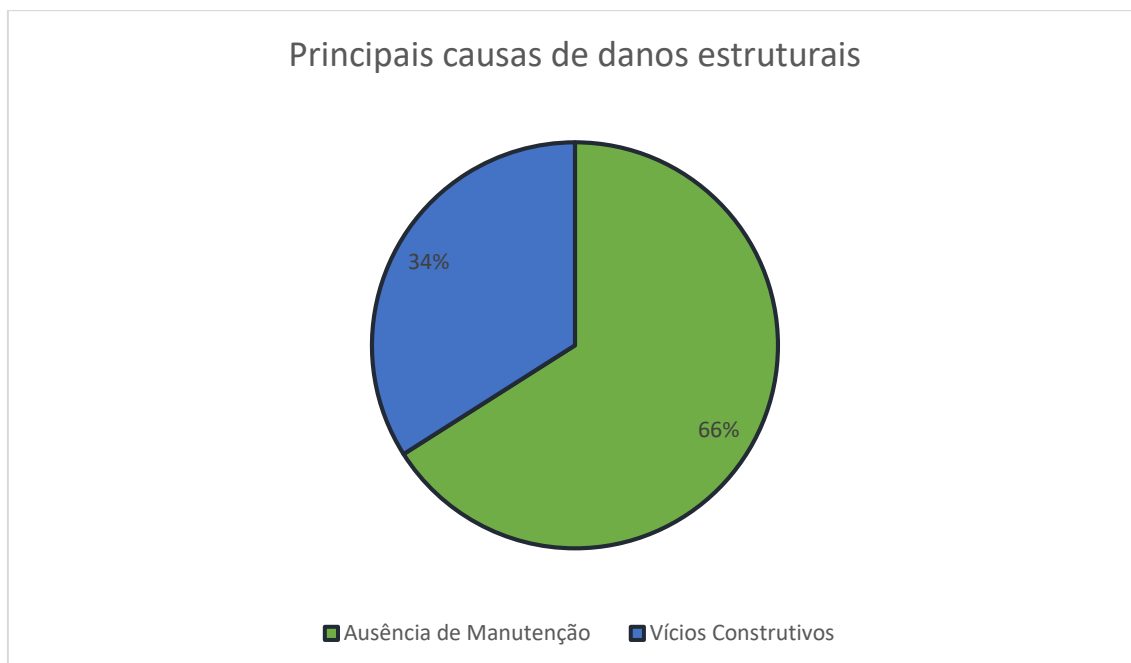
A definição de vida útil, segundo a NBR 15575-1(ABNT 2012), é: período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificado no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção.

Já a definição de durabilidade, segundo a NBR 15575-1(ABNT 2012), é: a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas. O termo “durabilidade” é comumente utilizado como qualitativo para expressar a condição em que a edificação ou seus sistemas mantém seu desempenho requerido durante a vida útil.

2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Diversas são as manifestações patológicas existentes numa edificação, que podem ter origem em qualquer fase/etapa. Segundo METHA e MONTEIRO, 1994, “a degradação do concreto raramente é devida a uma única causa. Em estágios mais avançados de degradação do material, mais de um fenômeno deletério pode estar em ação”.

Figura 1- Principais causas de danos estruturais



Fonte: (IBAPE/SP, 2017)

Conforme a figura 1, conclui que 66% dos prováveis danos estruturais são relacionados à ausência de manutenção. Já os 34%, é determinado como vícios construtivos.

De acordo a engenheira civil Rejane Saute Berezovsky, “A maioria das edificações do país não seguem as normas, por isso temos tantos problemas. Após cinco anos de uso, todo empreendimento deve fazer um check-up preventivo para detectar possíveis anomalias”.

O concreto possui aparência de ser perfeitamente compacto, porém, sofre deterioração ao longo do tempo, devido às ações de agentes externos que reagem ao cimento. A água é o principal fator para o processo da deterioração.

Desta forma, as principais manifestações na Rodoferroviária de Brasília, estão descritas a seguir.

2.2.1. SEGREGAÇÃO

Separação entre os materiais presentes concreto. Pode ser provocada por lançamento livre de altura elevadas, vazamento do concreto pela forma, vibradores de baixa frequência. Com isso, pode deixar exposta a armadura e aumentando a vulnerabilidade aos danos.

Figura 2- Segregação na base de um pilar

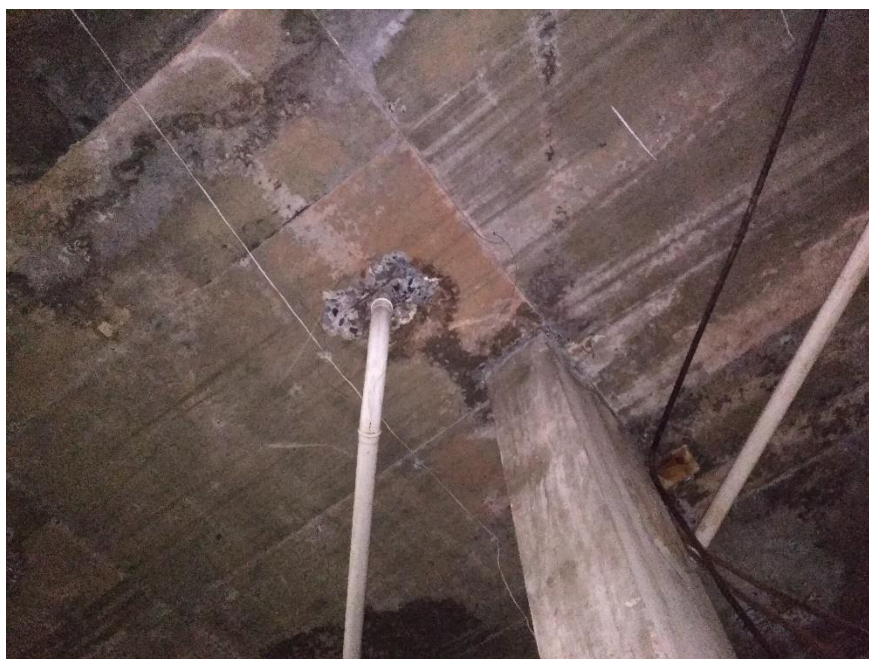


Fonte: (Autor, 2018)

2.2.2. MANCHAS

Causadas pela alta umidade, fungos e mofos, principalmente em áreas que não isoladas que não há ventilação, como subsolos.

Figura 3- Manchas e mofos causados pela alta umidade



Fonte: (Autor, 2018)

2.2.3. EFLORESCÊNCIA

Aparecimento de manchas esbranquiçadas na superfície, com a ajuda da água, carrega a cal liberada na hidratação do cimento. Ocorre devido à passagem continua por água que passam pelas fissuras em lajes, podendo, com o tempo, formar estalactites.

Figura 4- Eflorescência em laje



Fonte: (Autor, 2018)

2.2.4. ESFOLIAÇÃO

Lascas que se descolam do concreto, geralmente, causadas por umidade excessivas, corrosão da armadura, por pressão ou expansão no interior do concreto consequentemente, há uma perda da capacidade aglomerante do concreto.

Figura 5- Esfoliação em viga do subsolo



Fonte: (Autor, 2018)

2.2.5. DEFICIÊNCIA DE COBRIMENTO

O cobrimento é de extrema importância com a função de proteger as armaduras de aço, de acordo a (NBR 6118:2014). A falta da espessura de cobrimento leva, eventualmente, a uma situação delicada, deixando a armadura exposta a corrosão em ambientes favorecidos. Ocorre devido à falta de fiscalização do serviço e o não cumprimento da norma.

Figura 6- Armadura de aço expostas



Fonte: (Autor, 2018)

2.2.6. FISSURAS

Trincas e/ou fissuras à mostra na edificação com variados tamanhos podem se formar por uma série de fatores, as quais permitem a passagem de agentes agressivos, atacando o concreto e as armaduras, provocando manchas, eflorescências, carbonatação, possibilitando, também, a proliferação de fungos. Se não forem tratadas corretamente, comprometem a estabilidade da estrutura.

Figura 7- Fissura em peça de concreto



Fonte: (Autor, 2018)

Figura 8- Fissura em peça de concreto



Fonte: (Autor, 2018)

A NBR 9575/2010 de impermeabilização – Seleção e projeto, estabelece as exigências e recomendações para que sejam atendidos os requisitos mínimos de proteção da construção contra a passagem de fluidos, bem como os requisitos de salubridade, segurança e conforto do usuário, de forma a ser garantida a estanqueidade dos elementos construtivos desejados.

2.2.7. INFILTRAÇÕES

Entrada de água no interior do elemento, podem trazer consequências muito mais sérias para a edificação e a principal dela é a, corrosão da armadura, eflorescência, lixiviação e carbonatação. A melhor solução é fazer a impermeabilização, assim os problemas estruturais causados pela infiltração são evitados.

Figura 9- Infiltração devido a tubulação e água da chuva



Fonte: (Autor, 2018)

2.3. CARBONATAÇÃO

Entre as patologias que podem prejudicar as estruturas de concreto armado, a carbonatação é uma das mais preocupantes. O problema que reduz na alcalinidade do concreto que reage com o CO_2 , ao longo do tempo atinge as armaduras, aumentando a vulnerabilidade à corrosão, comprometendo a resistência e durabilidade da estrutura. Desta forma, este fenômeno físico-químico ocorre sem que haja formação de novas substâncias.

Figura 10- Estalactites devido a perca de pH



Fonte: (Autor, 2018)

A carbonatação acontece de fora para dentro no concreto, por meio de uma frente carbonatada. Quando atinge a profundidade das armaduras, provoca desestabilização da camada passiva protetora, propiciando, assim, o início da corrosão.

Para que a carbonatação aconteça, três fatores precisam estar dentro do concreto. São eles: umidade (**H₂O**), gás carbônico (**CO₂**) e oxigênio (**O₂**). A interação entre o componente como CO₂ com os produtos da hidratação do cimento, forma-se um composto chamado ácido carbônico (H₂CO₃). Ao reagir com a pasta de cimento hidratada, esse ácido resulta em carbonato de cálcio (CaCO₃) e água, dando origem à carbonatação. A primeira consequência dessa reação é a redução do pH do concreto de valores ideais entre 12,6 ~ 13,5 para número abaixo de 9,5. Este é o grande problema, pois quando o pH está alcalino (valores ideais de 12,6 ~ 13,5) a armadura está totalmente protegida da corrosão, ao diminuir o pH, consequentemente, perde a capacidade de proteção do aço.

Segundo Naquis Tokudome (2017), “o problema é que a alteração do pH pode facilitar o desencadeamento da corrosão, já que a alcalinidade é importante para manter o aço do concreto armado protegido”.

O concreto armado (concreto/aço) age em perfeita sintonia. E o concreto com o pH elevado protege o aço, ou seja, quando ocorre a carbonatação, o pH do concreto diminui, possibilitando a corrosão do aço.

- i. H₂O entra nos poros do concreto pelas fissuras;
- ii. Forma-se uma fina camada de água;
- iii. A água dissolve o cálcio (Ca) formando Ca(OH)₂;
- iv. CO₂ entra no poro pelas fissuras;
- v. CO₂ reage com o Ca(OH)₂ formando CaCO₃ (cristais);
- vi. O consumo de Ca diminui o pH do concreto deixando o aço exposto a corrosão.

Figura 11- Carbonatação do Concreto



Fonte: (Autor, 2018)

Figura 12- Carbonatação do Concreto 2



Fonte: (Autor, 2018)

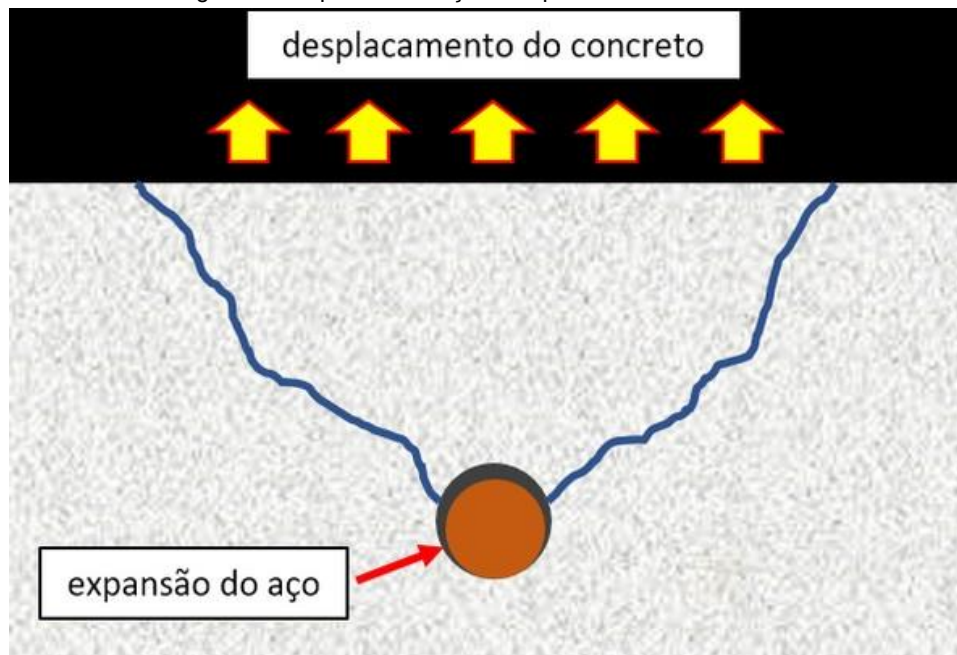
2.3.1. MANIFESTAÇÃO E CONSEQUÊNCIA

A carbonatação manifesta-se inicialmente por manchas brancas na superfície do concreto e fica mais evidente quando surgem fissuras na peça e deslocamento da camada de concreto de recobrimento. A profundidade e a velocidade do fenômeno dependem de características do próprio concreto, como o teor de concreto e o pH. Também dependem das condições de exposição, como alta concentração de gás carbônico e umidade relativa do ar na faixa de 50% a 75%.

Para a carbonatação ocorrer, é necessário CO₂ (agente agressivo), logo, faz com que o fenômeno tenha maior incidência em grandes centros urbanos e em subsolos de garagem. Entretanto, em aplicações submersas, a patologia não acontece, já que não há presença de oxigênio. A carbonatação tende a avançar quando os poros são parcialmente ocupados por 3 fatores: oxigênio, água e agente agressivo.

Além da diminuição do pH do concreto, o processo de carbonatação também pode gerar microfissuras provocadas pela formação dos novos produtos que ocasionam aumento de volume.

Figura 13- Expansão do aço e deslocamento do concreto



Fonte: <https://www.tecnosilbr.com.br/>

2.3.2. COMO EVITAR

Diversas ações podem e devem ser utilizadas para deter ou minimizar o risco. O controle de qualidade deve se dar desde o desenho do traço até a cura do concreto.

Em geral, a organização dos agregados e a utilização de aditivo auxiliam na redução de água no traço do concreto. *Ao reduzir a quantidade de poros, dosagens com menor relação água cimento terão menores velocidades de carbonatação, podendo ser usados aditivos que proporcionem ainda maior impermeabilidade,* comenta o engenheiro Thomas Carmona, diretor da Carmona Soluções de Engenharia e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE). Segundo o especialista em patologias das estruturas, o cimento com menos adições tende a ser o mais adequado para uma maior vida útil das estruturas sujeitas à carbonatação.

Naguisa Tokudome ainda acrescenta: “Mas é possível fazer um bom concreto, resistente à carbonatação, com todos os tipos de cimento, desde que se lance mão de um bom traço”.

A execução é determinante para a incidência de carbonatação e está relacionada às etapas de lançamento, adensamento e cura do concreto. “O adensamento, embora sirva para expulsar as bolhas de ar do concreto fresco, deve ser aplicado de forma adequada para não causar segregação e tornar a superfície do concreto mais frágil. Outro ponto de atenção é a correta posição da armadura que precisa respeitar o cobrimento especificado no projeto”. (TOKUDOME, N. 2017).

O concreto mal curado possui microfissuras que o enfraquecem. A preexistência de fissuras nas estruturas facilita a entrada do CO₂ e pode acelerar a carbonatação. Portanto, garantir a cura adequada ao concreto, aumenta a resistência do concreto e diminui a incidência de trincas e fissuras que podem comprometer a estrutura.

2.4. METODOLOGIA GDE/UnB

A Metodologia GDE foi idealizada por Klein et al. (1991), o qual o método visava evidenciar os problemas existentes em obras de artes especiais, às estruturas convencionais de concreto armado. Com isso, sistematizar um processo de inspeção e classificar as estruturas em função da gravidade dos problemas encontrados por meio da definição de um grau de risco. Castro (1994) desenvolveu a metodologia chamada GDE/UnB, adotando o modelo proposto pelo sueco Tuutti (1982), adaptando na formulação os conceitos necessários, com o objetivo de avaliar quantitativamente estruturas de concreto. Assim, identificando o estado de deterioração em que as estruturas se encontram, apresentando resultados dos principais danos referentes as manifestações.

A metodologia foi ajustada e aplicada através de Lopes (1998) em seis edificações comerciais do Banco do Brasil, por Boldo (2002) em quarenta edificações do Exército Brasileiro de diferentes ocupações, por Fonseca (2002) no Instituto Central de Ciências da UnB – ICC, por Euqueres (2011) por onze pontes aleatórias no Goiás e por Verly (2015) em vinte e duas pontes no Distrito Federal.

Segundo Klein et al. (1991), “a facilidade com que os parâmetros adotados podem ser adaptados a outros tipos de estruturas, considerando assim suas características particulares, explica a abrangência desta metodologia”.

O documento, denominado *Caderno de Inspeções*, elaborado e utilizado por Castro (1994) para auxiliar à inspeção que contém o conceito dos danos de maior incidência e recomendações para os *Fatores de intensidade do dano – Fi*. Utilizado por Lopes (1998) e revisado por Boldo (2002) a qual atribuiu a denominação de *Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto*. Houve uma nova adaptação do roteiro por Fonseca (2007) incorporando na formulação da metodologia, que propôs as alterações nas fórmulas de cálculo do *Grau de deterioração de uma família – (Gdf)*, do *Grau de Dano – (D)* e nos tipos de danos mais frequentes.

A metodologia foi aplicada em edifícios por Castro (1994), Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007).

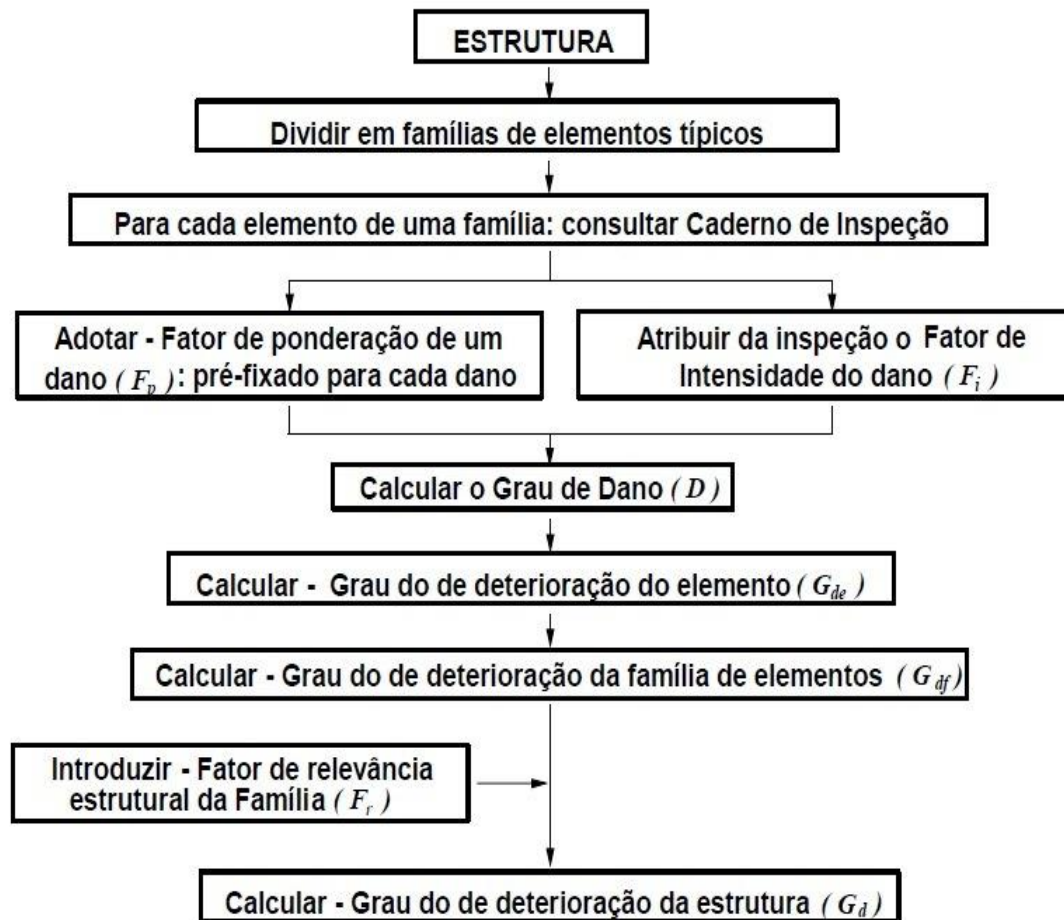
Euqueres (2011) adaptou o documento e aplicou em OAEs, o qual foi utilizado a mesma formulação proposta por Fonseca (2007), mas com adequações necessárias na divisão dos elementos das OAEs em famílias.

Por conseguinte, a metodologia GDE/UnB, adaptada por Castro (1994), possibilita a aplicação em edificações com estrutura de concreto, sendo inspecionada e avaliada tanto os elementos estruturais isolados quanto toda a edificação. Ora, é uma ferramenta que permite indicar a melhor necessidade de manutenção da estrutura, indicando os elementos mais críticos como deficiência de cobrimento, profundidade de carbonatação do concreto, presença de cloretos, etc.

Na formulação proposta por Fonseca (2007), a metodologia abrange atividades de escritório e de campo. Na etapa de campo pode se limitar à atribuição de valores para *Fatores de intensidade do dano – Fi* e para os *Fatores de ponderação de um dano – Fp*.

A metodologia GDE/UnB segue as etapas descritas pelo fluxograma da figura 14, ajustado por Castro (1994) e adaptado ao decorrer do método. Detalha os procedimentos a serem seguidos, para o desenvolvimento das inspeções estruturais e avaliação dos resultados.

Figura 14- Fluxograma para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura



Fonte: Ajustado por Castro (1994)

2.4.1. DIVISÃO EM FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS TÍPICOS

Os elementos são agrupados em famílias de elemento com base nas suas características estruturais peculiares e sua função estrutural no conjunto, a qual é elaborada uma matriz onde são classificadas as possíveis “manifestações de danos”. Desta forma, em uma família, todos os elementos são analisados da mesma maneira.

- Pilares;
- Vigas;
- Reservatório superior e inferior;
- Lajes;
- Elementos de composição arquitetônica;
- Escadas/Rampas;
- Cortinas;
- Juntas de dilatação.

Os elementos de composição arquitetônica, são elementos em concreto armado que, em sua maioria, são utilizados para composição de fachadas e apresentam problemas de manifestações patológicas ao longo do tempo. (Castro, 1994).

2.4.2. FATOR DE PONDERAÇÃO (F_p)

Determinou-se um fator de ponderação (F_p), que tem como objetivo, quantificar a importância relativa do dano no que se refere as condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família. Portanto, uma mesma manifestação patológica pode ter fatores de ponderação distintos em famílias diferentes. Os valores de F_p podem variar de 1 a 10. Essa numerologia foi determinada com base no trabalho de Klein et al (1991).

Alguns tipos de matrizes para cada família de elemento são apresentados na tabela 1, detalhando os danos possíveis com seus respectivos valores de F_p .

Tabela 1- Família de elementos estruturais Fp

| PILAR | | VIGAS | |
|-----------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| <i>Danos</i> | <i>Fp</i> | <i>Danos</i> | <i>Fp</i> |
| Desvio de geometria | 8 | Segregação | 4 |
| Recalque | 10 | Lixiviação | 5 |
| Infiltração na base | 6 | Esfoliação | 8 |
| Segregação | 6 | Desagregação | 7 |
| Lixiviação | 5 | Cobrimento deficiente | 6 |
| Esfoliação | 8 | Manchas de corrosão | 7 |
| Desagregação | 7 | Flechas | 10 |
| Sinais de esmagamento | 10 | Fissuras | 10 |
| Cobrimento deficiente | 6 | Carbonatação | 7 |
| Manchas de corrosão | 7 | Infiltração | 6 |
| Fissuras | 10 | Presença de cloretos | 10 |
| Carbonatação | 7 | Manchas | 5 |
| Presença de cloretos | 10 | | |
| Manchas | 5 | | |
| LAJE | | CORTINAS | |
| <i>Danos</i> | <i>Fp</i> | <i>Danos</i> | <i>Fp</i> |
| Segregação | 5 | Sinais de esmagamento | 10 |
| Lixiviação | 3 | Desvio de geometria | 6 |
| Esfoliação | 8 | Infiltração | 6 |
| Desagregação | 7 | Segregação | 5 |
| Cobrimento deficiente | 6 | Lixiviação | 5 |
| Manchas de corrosão | 7 | Esfoliação | 8 |
| Flechas | 10 | Desagregação | 7 |
| Fissuras | 10 | Deslocamento por empuxo | 10 |
| Carbonatação | 7 | Cobrimento deficiente | 6 |
| Infiltração | 6 | Manchas de corrosão | 7 |
| Presença de cloretos | 10 | Fissuras | 10 |
| Manchas | 5 | Carbonatação | 7 |
| | | Presença de cloretos | 10 |
| | | Manchas | 5 |
| ESCADAS/RAMPAS | | RESERVATORIO SUP/INF | |
| <i>Danos</i> | <i>Fp</i> | <i>Danos</i> | <i>Fp</i> |
| Segregação | 4 | Impermeabilização danificada | 8 |
| Lixiviação | 5 | Vazamento | 10 |
| Esfoliação | 8 | Segregação | 5 |
| Desagregação | 7 | Lixiviação | 7 |
| Cobrimento deficiente | 6 | Esfoliação | 10 |
| Manchas de corrosão | 7 | Desagregação | 7 |
| Flechas | 10 | Cobrimento deficiente | 7 |
| Fissuras | 10 | Manchas de corrosão | 9 |
| Carbonatação | 7 | Fissuras | 10 |
| Infiltração | 6 | Carbonatação | 7 |
| Presença de cloretos | 10 | Presença de cloretos | 10 |
| Manchas | 5 | | |

Fonte: Ajustado por Castro (1994)

2.4.3. FATOR DE INTENSIDADE DO DANO (F_i)

O fator de intensidade do dano (F_i) classifica o nível de gravidade e a evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, seguindo uma escala de 0 a 4, na forma proposta por Klein et al (1991). (Castro, 1994).

Tabela 2- Classificação dos fatores de intensidade

| Nível de Gravidade | F_i |
|---------------------------|-------------------------|
| SEM LESÕES | 0 |
| LESÕES LEVES | 1 |
| LESÕES TOLERÁVEIS | 2 |
| LESÕES GRAVES | 3 |
| ESTADO CRÍTICO | 4 |

Fonte: Klein et al (1991)

Como podemos analisar, conforme a Tabela 2, o dano é classificado de 0 a 4, quando um dano for classificado com um fator de intensidade 4,0, o estado do elemento é crítico, neste caso, deve haver intervenção imediata no elemento para reparar aquele problema específico.

Toda via, essa classificação de pontuação do elemento precisa, necessariamente, ser detalhada. Castro (1994), propôs uma classificação que identifica o nível de gravidade das lesões e sua evolução, segundo as características específicas pelo RILEM Committee 104 – Damage classification of concrete structures (RILEM, 1991).

De acordo Castro (1994), “é de fundamental importância a consideração da influência do ambiente em vista das condições de exposição e proteção do elemento estrutural”.

A tabela 3 e 4, apresenta os danos e seus respectivos fatores de intensidade, detalhando o tipo de manifestação em cada ambiente.

Tabela 3- Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

| Tipos de danos | Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação |
|--|---|
| segregação | 1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 - significativa em relação às dimensões da peça; 3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4 - perda relevante da seção da peça. |
| eflorescência | 1 - início de manifestação; 2 - manchas de pequenas dimensões; 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões. |
| esfoliação | 2 - pequenas escamações do concreto; 3 - lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção. |
| desagregação | 2 - início de manifestação; 3 - manifestações leves; 4 - por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto; |
| cobrimento | 1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 - menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 - deficiente com armaduras expostas em extensões significativas. |
| manchas de corrosão/ corrosão da armadura | 2 - manifestações leves; 3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4 - corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção. |
| flechas | 1 - não perceptíveis a olho nu; 2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3 - superiores em até 40% às previstas na norma; 4 - excessivas. |
| recalque | 2 - indícios, pelas características de trincas na alvenaria; 3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais. |
| fissuras | 1 - aberturas menores do que as máximas previstas em norma; 2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3 - aberturas excessivas; estabilizadas; 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas. |

Fonte: Castro (1994)

Tabela 4- Continuação classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

| Tipos de dano | Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação |
|--|--|
| carbonatação | 1 - localizada, com algumas regiões com pH <9, sem atingir a armadura; 2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. |
| infiltração | 1 - indícios de umidade; 2 - pequenas manchas; 3 - grandes manchas; 4 - generalizada. |
| presença de cloretos | 2 - em elementos no interior sem umidade; 3 - em elementos no exterior sem umidade; 4 - em ambientes úmidos. |
| manchas | 2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas; 3 - manchas escuras em todo o elemento estrutural |
| sinais de esmagamento | 3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura; fissuras diagonais isoladas; 4 - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de seção, deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura. |
| desvio de geometria | 2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura) 3 - pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$ |
| infiltração na base | 3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações. |
| junta de dilatação obstruída | 2 - perda de elasticidade do material da junta; 3 - presença de material não compressível na junta. |
| fissuras vizinhas as juntas de dilatação | 2 - lajes com início de fissuras adjacentes às juntas; 3 - grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas; 4 - idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ou pilares de suporte. |
| deslocamento por empuxo | 3 - deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade porém estável; 4 - deslocamento lateral no sentido horizontal, instável. |

Fonte: Castro (1994)

2.4.4. FATOR DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL (*Fr*)

Determina e destaca a importância de uma família de elemento, de acordo, tanto o seu desempenho estrutural quanto o bom desempenho. Essa metodologia proposta por Klein et al (1991), tem uma classificação específica para obras de artes.

Castro (1994) adotou uma classificação para edificações, os fatores de relevância de uma família de elementos. A tabela 5 detalha a divisão dos elementos e seus respectivos fatores de relevância em uma escala crescente de importância de cada elemento.

Tabela 5- Fatores de Relevância Estrutural para estrutura

| ELEMENTO | <i>Fr</i> |
|--|------------------|
| Elemento de composição arquitetônica | 1 |
| Reservatório superior | 2 |
| Escadas/Rampas, Reservatório inferior, Lajes secundárias | 3 |
| Lajes, Fundações, Vigas secundárias, Pilares secundários | 4 |
| Vigas e Pilares principais | 5 |

Fonte: Ajustado por Castro (1994)

2.4.5. FATOR DE GRAVIDADE DO PROBLEMA (*Fg*)

Grau do desempenho estrutural provocado pela manifestação patológica existente sobre o elemento. Foram determinados os principais problemas presentes no elemento em relação a sua durabilidade e segurança com a finalidade de avaliar cada efeito de manifestação: fissuras, corrosão, carbonatação, etc. Desta forma, especificando de 0 a 10 cada problema específico que apresenta no elemento.

2.4.6. GRAU DO DANO (*D*)

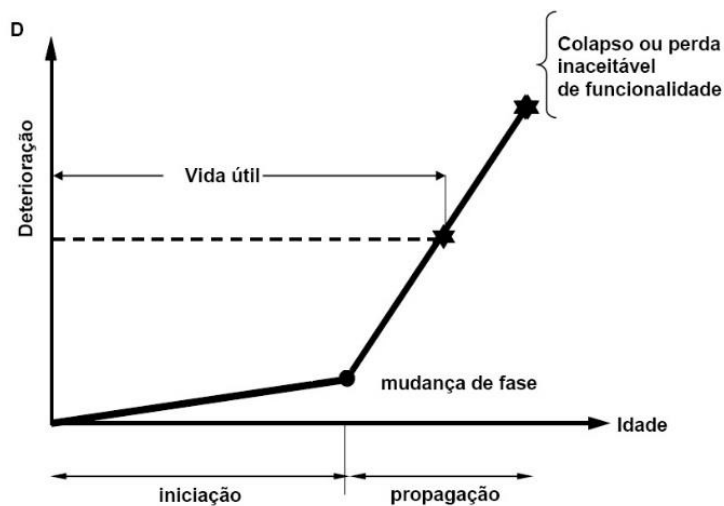
Segundo o modelo proposto por Tuutti (1992) no capítulo “Durabilidade”, o desenvolvimento da deterioração ocorre em etapas diferentes, sendo, iniciação e propagação.

Na fase de *iniciação*, etapa em que os danos são imperceptíveis utilizando a inspeção visual, não representa comprometimento para a vida útil da estrutura, porém, os agentes agressivos estão ativos, apesar de penetrarem lentamente, tem-se o início dos danos.

Na fase de *propagação*, segunda etapa, onde os danos estão se desenvolvendo, há fatores que aceleram o processo de deterioração, com

aparecimento de fissuras, perda do cobrimento e podendo comprometer a estrutura. A velocidade da degradação aumenta e, passa a ser um fator importante para definir estratégias de futuras manutenções ou reparo.

Figura 15- Vida útil das estruturas de concreto



Fonte: Castro (1994)

O grau de dano tem como objetivo quantificar a manifestação de cada dano do elemento e, também, depende dos fatores de Ponderação (F_p) ($0 \leq F_p \leq 10$) e Intensidade (F_i) ($0 \leq F_i \leq 4$). Através do cálculo, conforme equação 1, um elemento obtém valores correspondentes, usando a analogia proposta por Tuutti (1982) para corrosão das armaduras.

Castro (1994) propôs a seguinte equação para o cálculo do grau de dano:

(Equação)

$$D = 0,4 * F_i * F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (6 * F_i - 14)F_p \quad \text{para } F_i \geq 3,0 \quad (2)$$

Onde:

F_i = Fator de intensidade do dano;

F_p = Fator de ponderação do dano.

2.4.7. GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO (*Gde*)

O grau de uma estrutura isolada (*Gde*) é determinado de acordo as análises obtidas pela inspeção de todos os danos detectados no elemento. Através do cálculo do grau de deterioração, proposto por Lopes (1999), é atribuído os resultados proporcionando uma avaliação mais consistente.

Denominado de “m” o número de danos detectados no elemento, o grau de deterioração será determinado a partir da seguinte expressão:

(Equação)

$$Gde = Dmáx \quad \text{para } m \leq 2 \quad (3)$$

$$Gde = Dmáx + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} D(i)}{m-1} \quad \text{para } m > 2 \quad (4)$$

Onde:

$D(i)$ = Grau do dano de ordem (i)

$Dmáx$ = Maior grau de dano do elemento

Como num elemento com dois ou mais danos, deve prevalecer, de acordo a avaliação, aquele dano cujo grau de dano é maior, pois, teria um resultado errôneo caso o resultado fosse a média dos dois danos. Portanto, decidiu-se a formulação referente ao maior grau de dano do elemento.

Tabela 6- Classificação dos níveis de deterioração do elemento

| Nível de deterioração | Gde | Medidas a serem adotadas |
|-----------------------|-------|--|
| Baixo | 0-15 | Estado aceitável – Manutenção preventiva |
| Médio | 15-50 | Observação periódica e intervenção a médio prazo |
| Alto | 50-80 | Observação periódica minuciosa e intervenção a curto prazo |
| Crítico | >80 | Necessidade de intervenção imediata para reestabelecer funcionalidade e/ou segurança |

Fonte: Castro (1994)

De acordo a análise a tabela 2, do fator de intensidade do dano, um elemento com intensidade 4 deve haver intervenção imediata, pois, é uma situação crítica.

Entretanto, é conveniente estabelecer uma escala de medidas para se tomar com relação a cada elemento e classificação, com base no seu grau de deterioração.

Observando-se que, os limites estabelecidos são indicativos para se tomar uma decisão.

2.4.8. GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UMA FAMÍLIA (*Gdf*)

O Grau de deterioração de uma família (*Gdf*), tem como definição a média entre os graus de deterioração dos elementos que apresentam maiores danos, ou seja, o cálculo do grau de deterioração da família deve destacar, apenas, os elementos de pior situação.

Buscou-se uma definição com um valor limite do grau de deterioração para caracterizar os “danos expressivos” em cada elemento. Estabeleceu-se um valor limite $Gde \geq 15$, é um valor consistente que levou a resultados adequados sobre os elementos mais danificados, definindo a melhor medida de intervenção. Castro (1994) adotou a seguinte formulação, diferente da proposta feita por Klein (1991):

(Equação)

$$Gdf = \frac{\sum_{i=1}^n Gde(i)}{n} \quad (5)$$

Onde:

n = número de elementos componentes da família com $Gde \geq 15$.

2.4.9. GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (*Gd*)

Essa etapa, na forma proposta por Klein et al (1991), define os diferentes graus de deterioração nas variadas famílias de elementos da edificação. Tendo de importância, o fator de relevância (*Fr*), conforme tabela 4.

Considerando o conjunto de todas as “k” famílias de elementos que compõem a estrutura tem-se:

(Equação)

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^k Fr(i) * Gdf(i)}{\sum_{i=1}^k Fr(i)} \quad (6)$$

Onde:

k = número de famílias de elementos presentes na edificação

Fr = fator de relevância estrutural de cada família

Gdf = grau de deterioração da família

Chegando nos resultados de *Gd*, classifica-se uma estrutura em 4 níveis de deterioração, de acordo a tabela 6, indicando a situação atual da estrutura e respectivamente, as medidas a serem adotadas e a manutenção adequada para a estrutura.

Tabela 7- Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

| Nível de deterioração | Gde | Medidas a serem adotadas |
|-----------------------|-------|--|
| Baixo | 0-15 | Estado aceitável |
| Médio | 15-40 | Observação periódica e intervenção a médio prazo |
| Alto | 40-60 | Observação periódica minuciosa e intervenção a curto prazo |
| Crítico | >60 | Necessidade de intervenção imediata para reestabelecer funcionalidade e/ou segurança |

Fonte: Castro (1994)

De acordo, Castro (1994) *É imprescindível a análise individual dos Gde, pois pode ser recomendada a intervenção imediata ou a curto e médio prazo em elementos isolados da estrutura, dependendo do fator de intensidade de um dano ou do grau de deterioração do elemento.*

Portanto, o grau de deterioração pode ser aceitável, mesmo ocorrendo necessidade de intervenção.

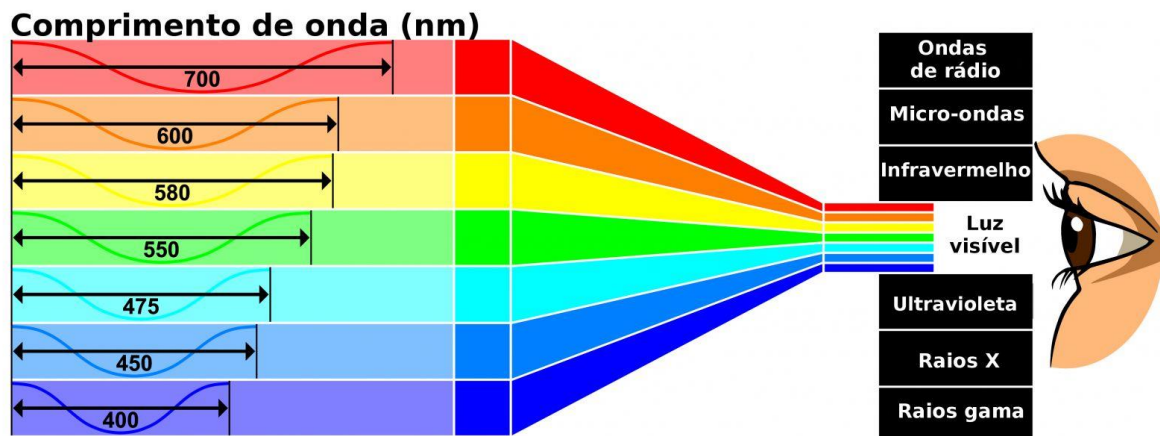
2.5. TERMOGRAFIA NA ENGENHARIA

2.5.1. RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Após tomar como base experimentos feitos por Isaac Newton ao dispersar a luz solar com a ajuda de um prisma, Willian Herschel (1738-1822) descobriu a radiação infravermelha, a qual, procurava a cor que possui maior temperatura, assim, ele percebeu que a região de frequência um pouco menor que a da luz vermelha era a região mais quente.

O infravermelho apresenta frequência menor que a frequência da luz vermelha, por sua vez, é a menor frequência captada pelo olho humano.

Figura 16- Espectro eletromagnético



Fonte: Brasil Escola 2016

2.5.2. CÂMERA TÉRMICA

A câmera térmica permite verificar problemas no interior das paredes, com o objetivo de capturar luz infravermelha de acordo energia emitida pelo objeto fotografado e, ao converter essa energia, permite que possamos ver o calor gerado pelo objeto.

A relação das cores e temperaturas é dada a partir do parâmetro de cores quentes e cores frias, ou seja, na escala de cores, do amarelo ao vermelho representa as cores quentes, já do verde ao violeta, representa as cores frias. Desta forma, podemos caracterizar as cores que apresentam nas imagens térmicas.

2.5.3. TERMOGRAFIA EM EDIFICAÇÕES

A tecnologia permite a realização de inspeções termográficas como: detecção de causas de patologia, sendo visualizadas e, principalmente, a detecção preventiva, descobrindo patologias não aparentes, mas já existentes.

Diversas aplicações podem ser feitas pelas capturas termográficas, podendo referir-se as principais, a título de exemplo:

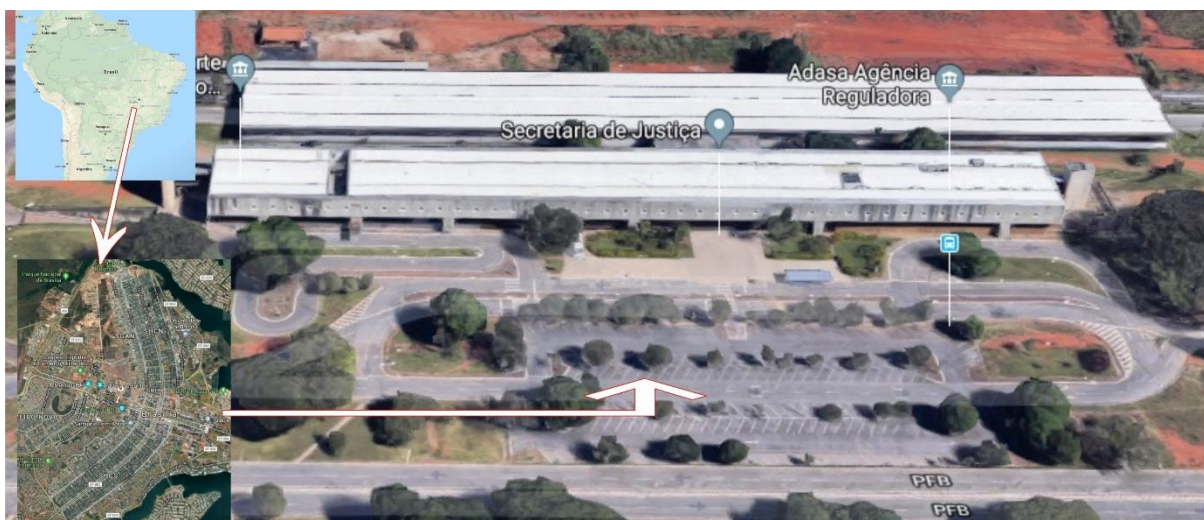
- detecção de infiltrações ou fugas de água;
- detecção de vazios no interior do concreto;
- detecção de corrosão de armaduras;
- localização de redes interiores;
- análise térmica dos edifícios.

As imagens registradas são analisadas através da temperatura e obtidas pela captura termográfica, portanto, torna-se possível chegar a conclusões precisas e indicar medidas adequadas para a prevenção ou correção da patologia.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho, o método utilizado foi qualitativo e quantitativo, através de ensaios não destrutivos, foi feito um levantamento, evidenciando as manifestações patológicas mais críticas encontradas na edificação. Por se tratar de uma edificação antiga, com cerca de 42 anos (1976), patrimônio público, executada em concreto protendido, localizada em SAIN – Estação Rodoferroviária – CEP 70631-900, aplicou-se um método que não danifique a estrutura, mas que se obtém resultados consistentes, propondo melhores soluções para amenizar as manifestações.

Figura 17- Rodoferroviária de Brasília



Fonte: google.com.br/maps (2018)

A primeira etapa se refere ao uso da fotografia térmica para identificar pontos com anomalias que não são visíveis a olho nu. O equipamento utilizado foi um adaptador para celular chamado *Flir One*, a qual, capta raios infravermelhos e gera imagens com uma escala de cores frias e quentes. Conforme explicado no item 3.6.2, iremos detectar e avaliar os problemas mais agudos presentes na estrutura.

A segunda etapa, está relacionada à aplicação da metodologia GDE e com base no método proposto por Castro (1994) foram elaborados os seguintes passos:

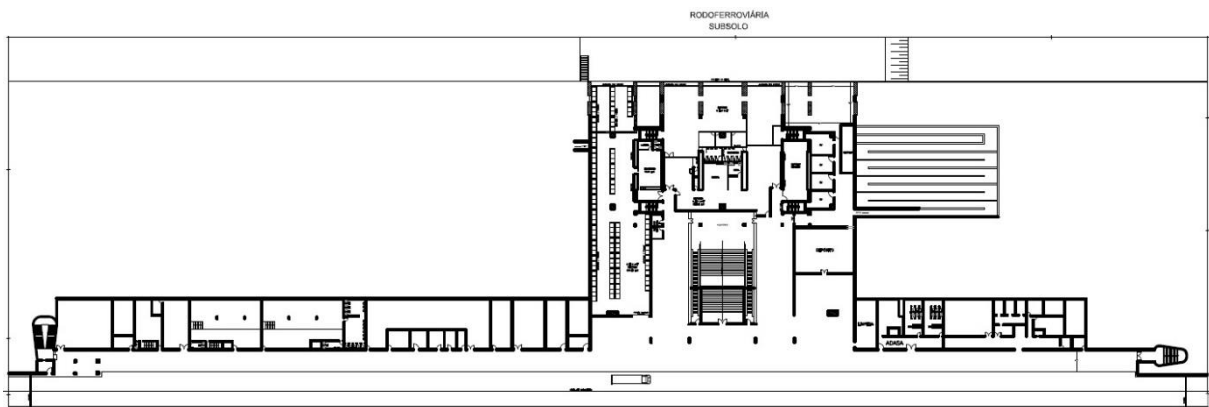
- i. Analisar o projeto arquitetônico e estrutural, como preparação para efetuar a inspeção visual, através de:
 - Identificação do sistema estrutural;

- Divisão da estrutura em módulos, de preferência delimitados pelas juntas de dilatação da estrutura;
 - Identificação de todos os elementos estruturais através de legendas que facilitem a inspeção.
- ii. Utilizar as matrizes que contêm danos de cada elemento, visando a:
- Identificação aparente de danos das peças estruturais;
 - Classificação dos danos, atribuindo a cada um deles um fator de intensidade (F_i).
- iii. Determinar dados para a elaboração dos cálculos. Através de:
- Cálculos manuais.
- iv. Concluir a determinação do grau de deterioração dos elementos e da estrutura.

4. ESTUDO DE CASO

A estrutura da Rodoferroviária é robusta, contendo 10 pilares no vão frontal e 22 pilares no vão posterior. Nela, contém a garagem no subsolo, onde tem infiltrações devido a água da chuva e CO2 devido aos carros.

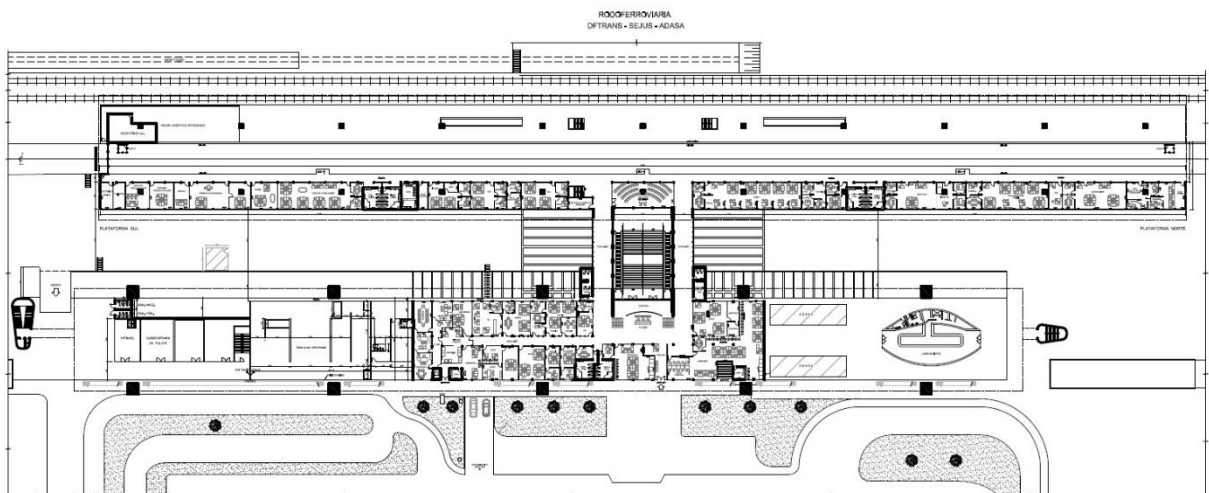
Figura 18- Subsolo Rodoferroviária de Brasília



Fonte: (Autor, 2018)

No térreo está localizada a Secretaria de Justiça, Adasa e Dftrans.

Figura 19- Térreo Rodoferroviária de Brasília



Fonte: (Autor, 2018)

Foram detectadas manifestações patológicas em uma grande parte da estrutura, porém, foi avaliado, com as imagens termográficas, os casos mais críticos presentes na edificação.

No subsolo, onde teve o maior registro de infiltrações, as imagens foram capturadas no período de chuva para uma melhor nitidez na detecção de infiltrações. Na figura 20 e 21, observa-se a laje do subsolo, com cores reais, a qual houve uma grande infiltração. Logo, podemos associar as imagens, a temperatura e a grande presença de umidade no concreto. Nota-se um processo de carbonatação e corrosão na laje do subsolo. Detalhe para a má encanação presente na laje, que foi instalada erroneamente com furos indevidos na laje para a passagem da tubulação.

Figura 20- Laje principal do subsolo Real X Termográfica



Fonte: (Autor, 2018)

Figura 21- Imagem Real X termográfica na laje do subsolo



Fonte: (Autor, 2018)

No subsolo há uma presença maciça de corrosão e carbonatação, principalmente nas áreas fotografadas, pois o concreto tem um contato direto com umidade, gás carbônico e oxigênio.

As irregularidades existentes no subsolo são muitas, a principal são os furos indevidos nas vigas ou lajes, desta forma, proporcionam fissuras e, conseqüentemente, infiltrações em períodos chuvosos. Com isso, o surgimento dessas patologias é inevitável, além disso, com a falta de manutenção, pode ocasionar danos maiores à estrutura.

Como pode-se observar na figura 22, com maior ênfase, detecta-se a instalação de uma tubulação que liga o reservatório da água da chuva, localizada no térreo, onde há manifestações patológicas em estado avançado, como: corrosão, lixiviação, eflorescência e trincas na laje próximo ao pilar. Nesse ponto, há muita infiltração, ocasionando poças d'água no subsolo. Conforme a figura 22, podemos associar as imagens e identificar alta umidade presente na laje e no pilar.

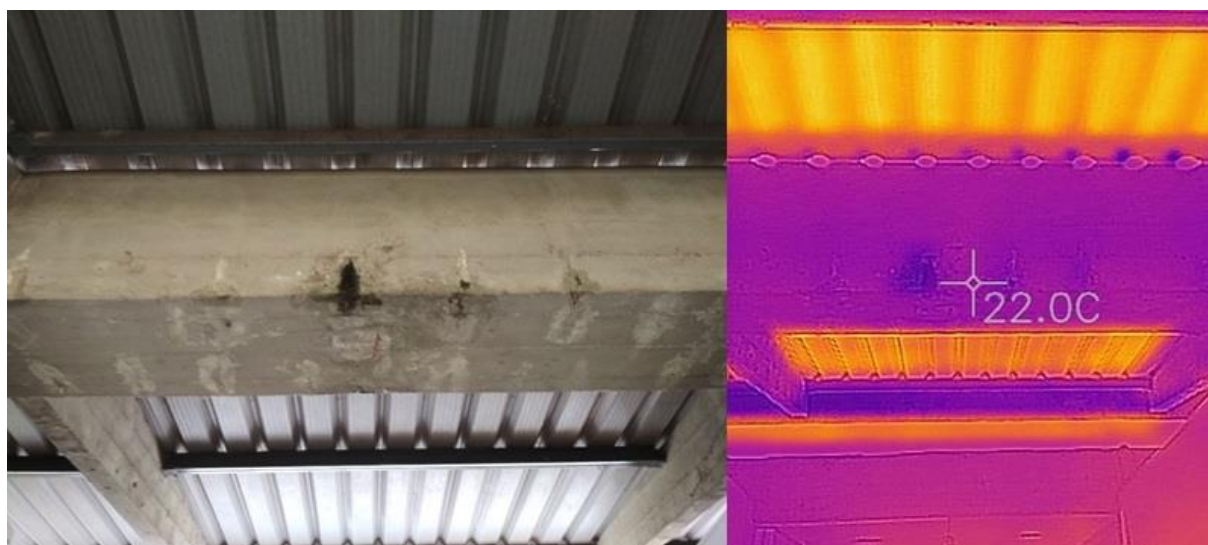
Figura 22- Infiltração na base do pilar e grandes manchas de corrosão Real X Termográfica



Fonte: (Autor, 2018)

No térreo foram detectadas poucas infiltrações na estrutura, porém, uma viga específica, em caso crítico, foi diagnosticada e capturada, onde podemos ver uma grande fissura conforme figura 23, a mesma, conciliando com a imagem termográfica, detectou-se com maior detalhe a baixa temperatura e alta umidade com a foto termográfica, assim, os pontos mais escuros é onde apresenta a maior presença de água. Essa patologia, possivelmente, ocorreu devido ao entupimento na viga canaleta, na qual foram descobertas poças d'água nesse ponto, de acordo figura 26, ocasionando infiltrações e danos na estrutura. Em tempo de chuva, há um grande nível de vazamento vindo dessa fissura que ao passar do tempo vai deixando a armadura vulnerável à corrosão e, conseqüentemente, perda de sua resistência.

Figura 23- Viga térreo Real x Termográfica



Fonte: (Autor, 2018)

Nesta viga, figura 24 e 25, detectou-se várias manifestações como fissuras, eflorescência, manchas e carbonatação, inclusive, foi visto pequenos estalactites que é formado devido à perda de pH do concreto.

A carbonatação ocorreu de fora para dentro, podendo atingir as armaduras, propiciando o início da corrosão. A carbonatação manifesta por depósitos brancos

que, ao longo do tempo, forma estalactites de variados tamanhos. Desta forma, pode fazer com que a estrutura sofra problemas na estabilidade global.

Figura 24- Estalactites na viga



Fonte: (Autor, 2018)

Figura 25-Imagem real X imagem termográfica da viga do térreo em estado mais crítico



Fonte: (Autor, 2018)

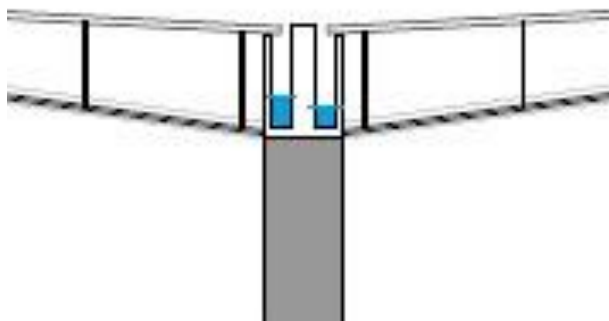
Figura 26- Poça d'água na viga canaleta devido ao entupimento



Fonte: (Autor, 2018)

Pode-se analisar o corte do projeto arquitetônico o modelo da viga canaleta, conforme figura 27. Foi detectado cerca de 13 cm de água parada na canaleta no ponto mais crítico, devido o entupimento da tubulação ocorre a infiltração da água e a deterioração do concreto.

Figura 27- Corte do projeto enfatizando a viga canaleta

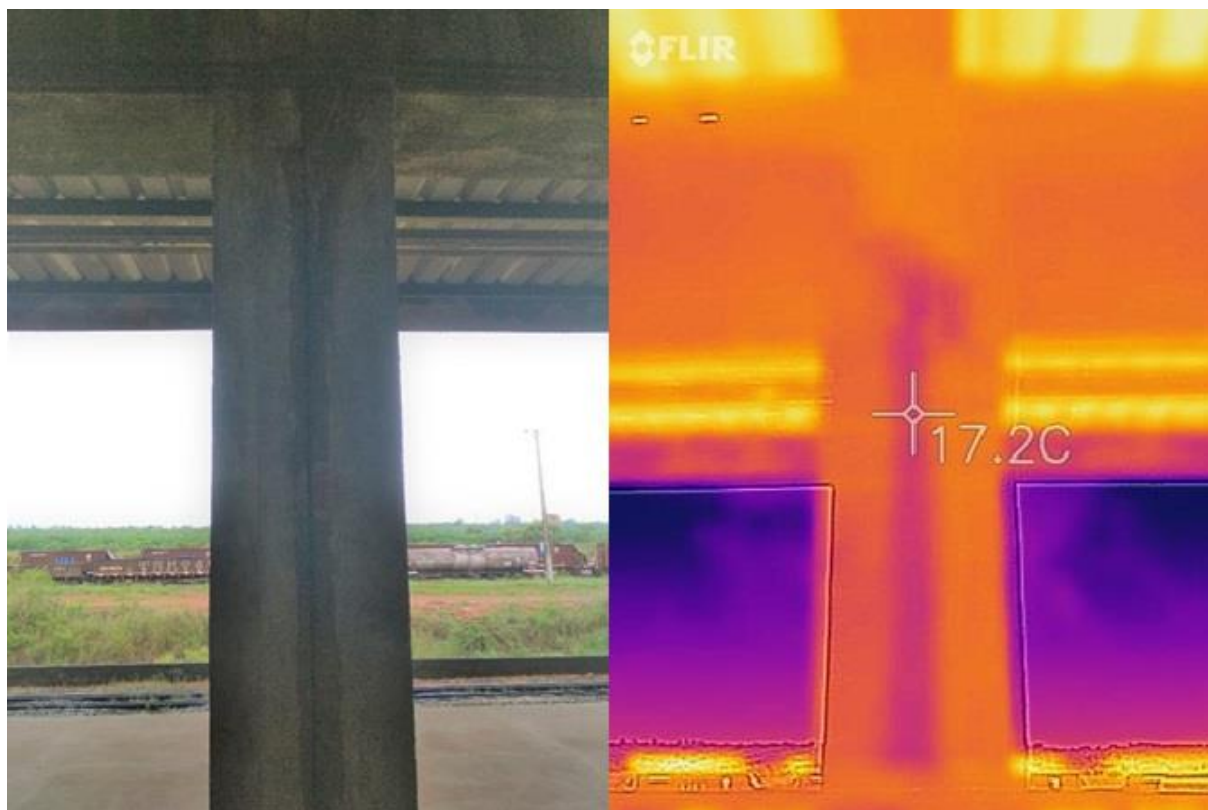


Fonte: (Autor, 2018)

Outro ponto crítico encontrado na estrutura da rodoferroviária, é um pilar localizado na parte térrea da edificação. Observou-se uma junta no pilar e na viga,

conforme figura 28, sendo provável que a infiltração seja através dessa junta, pode-se associar a imagem termográfica, visualizando a presença de umidade ao redor da junta.

Figura 28- Pilar do térreo em pior estado Real X Termográfica



Fonte: (Autor, 2018)

Nesse pilar, detectou-se eflorescência, pequenas fissuras e manchas, podendo acarretar na carbonatação, deixando o pilar vulnerável e diminuir na sua resistência.

4.1. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UnB

A aplicação da metodologia proposta foi dividida por pavimento, a primeira etapa constituiu no levantamento do subsolo, destacando suas características de construção. A estrutura é robusta, construída por concreto protendido aparente com pilares de 1m x 1m e 2m x 1,5m, os pilares possuem uma tubulação interna para a passagem de água da chuva. As vigas são compridas, em torno de 20m, algumas são vigas canaletas. As lajes contêm espessuras de 0,50m. o subsolo é destinado ao estacionamento da SEJUS-DF.

Inaugurada como rodoferroviária em 1981, a edificação tem 37 anos, há, pelo menos, 8 anos não recebe manutenção. A equipe construtora foram os militares da época. Os demais documentos sobre fundações e instalações (elétrica e hidráulica), laudos de sondagens e especificações dos materiais encontram-se no Arquivo Público de Brasília. Não se tem registro dos problemas que possam ter ocorridos na época da construção.

A aplicação da metodologia iniciou-se pela análise do projeto estrutural para identificação da estrutura. Atualmente, abriga órgãos públicos do DF, porém, não houve alteração na estrutura do projeto inicial. Os elementos da parte da estrutura foram divididos para análise e numerados de acordo a inspeção visual. Perfurações foram detectadas em alguns pontos das lajes para a instalação da tubulação servindo as copas, tubulação essa, feita de forma inadequada, trazendo consequências graves de infiltrações.

Em seguida, a estrutura foi dividida em módulo e os seus elementos devidamente identificados para efeito da inspeção.

O primeiro passo no procedimento empregado pela metodologia, foi a avaliação do nível de deterioração de alguns elementos. Conforme Anexo A1 os elementos escolhidos. De acordo o modelo proposto por Castro (1994), “As tabelas mostram matrizes típicas representativas de elementos distintos e apresentam-se os resultados obtidos”. Com isso, obtém-se conclusões sobre a estrutura da Rodoferroviária de Brasília.

4.1.1. ELEMENTO LAJE SUBSOLO

Algumas lajes do pavimento subsolo apresentaram na inspeção situações diferentes para a classificação dos danos, porém, todas com o mesmo problema como: infiltração vindo da tubulação que liga a copa e, principalmente, na época de chuvas, grandes poças d'água e acumulavam no piso do subsolo, chegando ao ponto de intervir o uso de alguns setores do estacionamento.

Na laje observada, atribuiu-se $Fi = 4$ para infiltração, o que caracteriza intensidade máxima com necessidade de intervenção imediata.

Manifestações de manchas de corrosão, carbonatação, fissuras e segregação, atribuiu-se o $Fi = 3$, referente a lesões graves.

As manifestações de eflorescência formando uma “crosta” sobre o concreto foram atribuídos o $Fi = 2$, sendo lesões classificadas como toleráveis, apesar de, visivelmente, mostrar esse dano, o concreto se encontra em um bom estado.

Os resultados da inspeção referente a laje do subsolo localizada conforme a figura 29, 30 e 31, consta na tabela 8.

Tabela 8- Laje

| Nome do Elemento | | L1 subsolo | |
|-----------------------|------|--------------------------|-----|
| Local | | Subsolo - estacionamento | |
| Danos | Fp | Fi | D |
| Segregação | 5 | 3 | 20 |
| Eflorescência | 3 | 2 | 2,4 |
| Esfoliação | 8 | - | 0 |
| Desagregação | 7 | - | 0 |
| Cobrimento deficiente | 6 | - | 0 |
| Manchas de corrosão | 7 | 3 | 28 |
| Flechas | 10 | - | 0 |
| Fissuras | 10 | 3 | 40 |
| Carbonatação | 7 | 3 | 28 |
| Infiltrações | 6 | 4 | 60 |
| Presença de cloretos | 10 | - | 0 |
| Manchas | 5 | - | 0 |

Fonte: Autor (2018)

Gde = 79,7

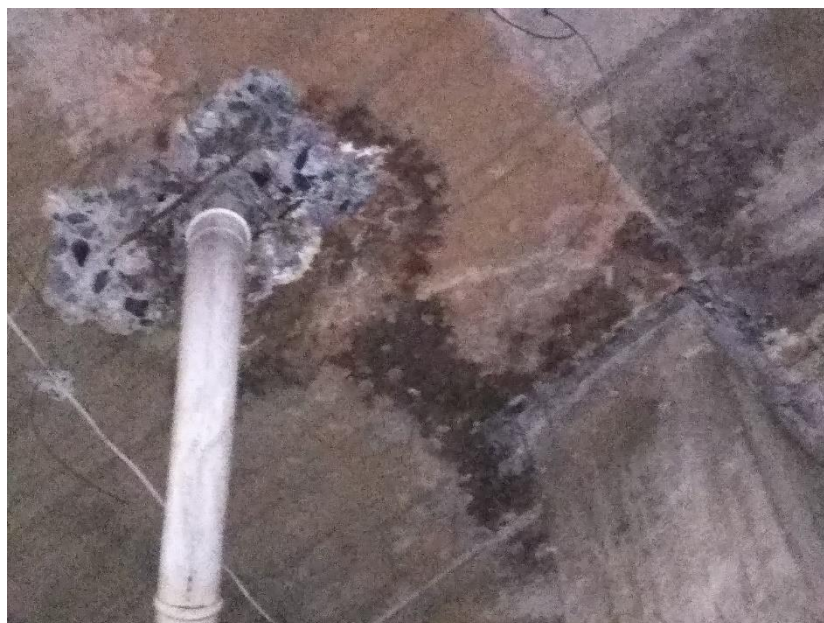
Ter um dano em estado grave, leva a um alto grau de deterioração (Gde), com o valor obtido do $Gde = 79,7$, classifica-se o elemento no nível de deterioração levando a uma determinada medida a ser tomada “Estado aceitável” a “Intervenção imediata”. O valor apresentado classifica o elemento no nível de deterioração “Alto, 50 – 80, intervenção a curto prazo”.

Figura 29- Grande infiltração devido a água da chuva



Fonte: (Autor, 2018)

Figura 30- Segregação e manchas na laje



Fonte: (Autor, 2018)

Figura 31- Carbonatação e fissuras na laje



Fonte: (Autor, 2018)

4.1.2. ELEMENTO PILAR SUBSOLO

Neste caso, a inspeção foi feita em um pilar do subsolo encontrado em estado mais crítico. O pilar é parte da estrutura central cujo seu diâmetro é de 2,5m x 2,5m e sustenta vigas e lajes, analisadas no item anterior, do subsolo. Grandes infiltrações foram observadas em época de chuva, como: perda de seção do concreto, manchas de carbonatação, eflorescências e pequenas corrosões da armadura.

Não há projetos que comprovam, mas o pilar, possivelmente, tem uma canalização no centro que percorre a água da chuva que vem das vigas canaletas. Não se sabe o interior do pilar, porém, visualmente ele apresenta diversos danos.

O resultado completo da inspeção referente ao pilar mais crítico encontrado na estrutura, conforme figura 32, consta na tabela 9.

Tabela 9- Pilar

| Nome do Elemento | | P1 subsolo | |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|----------|
| Local | | Subsolo - estacionamento | |
| Danos | <i>F_p</i> | <i>F_i</i> | <i>D</i> |
| Desvio de geometria | 8 | - | 0 |
| Recalque | 10 | - | 0 |
| Infiltração na base | 6 | 2 | 4,8 |
| Segregação | 6 | - | 0 |
| Eflorescência | 5 | 3 | 20 |
| Esfoliação | 8 | - | 0 |
| Desagregação | 7 | - | 0 |
| Sinais de esmagamento | 10 | - | 0 |
| Cobrimento deficiente | 6 | - | 0 |
| Manchas de corrosão | 7 | 4 | 70 |
| fissuras | 10 | 2 | 8 |
| Carbonatação | 7 | 3 | 28 |
| Presença de cloretos | 10 | - | 0 |
| Manchas | 5 | 3 | 20 |

Fonte: Autor (2018)

Gde = 86,2

O estado crítico atribuído com intensidade 4 (quatro) foram as manchas de corrosão bem visível no pilar, devido a presença de corrosão acentuada da armadura principal e perda de seção relevante de alguma barra exposta. A infiltração maior é localizada na laje que é sustentada pelo pilar, porém, observou-se pequena infiltração na base do pilar e fissuras que podem acarretar em maiores danos, atribuiu-se $F = 2$, sendo lesões toleráveis. Eflorescência, carbonatação e manchas, foram atribuídos com intensidade 3 (três), sendo danos graves, pois há manchas acentuadas em grandes extensões, manchas escuras e alta umidade devido infiltração.

Portando, o pilar se encontra em uma situação de deterioração “Crítico, >80, intervenção imediata”, devido ao valor do grau de deterioração $Gde = 86,2$. Medidas precisam ser tomadas urgentemente para evitar danos maiores à estrutura.

Figura 32- Pilar do subsolo em estado crítico



Fonte: (Autor, 2018)

4.1.3. ELEMENTO VIGA TÉRREO

No térreo, foi encontrado uma viga que apresenta diversos danos, aplicou-se a metodologia na viga em estado mais crítico da estrutura. Diagnosticou-se um problema grave de infiltração no centro da viga, em épocas de chuva essa infiltração é agravada. Com isto, tornou-se um sério problema, manifestando problemas de corrosão da armadura, carbonatação do concreto formando estalactites, grandes fissuras, manchas e lascamentos do concreto da viga.

A tabela 10, apresenta os resultados obtidos de acordo a inspeção, com valor máximo para fator de intensidade 4(quatro) na maioria dos danos. $Fi = 3$ nos demais danos. A viga se encontra em um estado grave, chegando a fator de intensidade máximo em quase todos os danos.

Tabela 10- Viga

| Nome do Elemento | | V1 térreo | |
|-----------------------|-----------|--------------|----------|
| Local | | Viga central | |
| Danos | <i>Fp</i> | <i>Fi</i> | <i>D</i> |
| Segregação | 4 | - | 0 |
| Eflorescência | 5 | 3 | 20 |
| Esfoliação | 8 | - | 0 |
| Desagregação | 7 | - | 0 |
| Cobrimento deficiente | 6 | - | 0 |
| Manchas de corrosão | 7 | 3 | 28 |
| Flechas | 10 | - | 0 |
| Fissuras | 10 | 4 | 100 |
| Carbonatação | 7 | 4 | 70 |
| Infiltração | 6 | 4 | 60 |
| Presença de cloretos | 10 | - | 0 |
| Manchas | 5 | 4 | 50 |

Fonte: Autor (2018)

Gde = 145,6

De acordo avaliação feita pela metodologia proposta, o grau de deterioração $Gde = 145,6$, nível de deterioração referente a “Crítico, >80 , necessidade de intervenção imediata”, desta forma, é preciso recuperar as condições da viga e evitar o risco de agravamento do problema ou até mesmo de desabamento.

A viga canaleta é bastante robusta, onde percorre a água da chuva, devido a falta de manutenção, surgiram entupimentos na canalização da água da chuva, consequentemente, infiltrações, podendo agravar o problema

Figura 33- Viga central Térreo com problemas graves



Fonte: (Autor, 2018)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manifestações patológicas encontradas na estrutura da Rodoferroviária de Brasília, levaram-se a um objetivo de verificação através das normas recentes do conceito de *durabilidade* e *vida útil*, conforme proposto por Tuutti, levando a necessidade de manutenção preventiva da estrutura para garantir um melhor desempenho à edificação, alcançando a vida útil prevista.

Este trabalho teve como objetivo a inspeção da deterioração que ocorre em patrimônios públicos, especificamente, a Rodoferroviária de Brasília, usando técnicas não destrutivas e eficazes, que auxiliam na detecção de anomalias não visíveis a olho nu, como o uso da câmera termográfica e a aplicação da metodologia GDE/UnB, seguindo o modelo adotado por Castro (1994), neste caso, 3 elementos que se encontram em pior estado, foram escolhidos para análise.

Por meio dos resultados obtidos, percebe-se que as ações físicas, químicas e biológicas afetam a estrutura de concreto no decorrer de sua vida útil, acelerando o processo de deterioração do concreto e das armaduras e que o uso da câmera termográfica contribuiu para detectar o ponto inicial das anomalias e, paralelamente, aplicando a metodologia GDE/UnB, para se chegar determinados resultados.

A estrutura é robusta, por enquanto, não chegou no nível de colapso, porém, é necessário tomar medidas de intervenção em curto prazo dos elementos, conforme tabela 11, e propor a manutenção corretiva, a fim de corrigir as anomalias encontradas.

Tabela 11- Deterioração dos elementos

| Elemento | Gd | Nível de deterioração | Medidas a serem adotadas | Local |
|-----------------|-----------|------------------------------|---------------------------------|--------------|
| Laje | 79,7 | Alto | Intervenção a curto prazo | L1 |
| Pilar | 86,2 | Crítico | Intervenção imediata | P1 |
| Viga | 145,6 | Crítico | Intervenção imediata | V1 |

Fonte: Autor (2018)

Embora a Rodoferroviária de Brasília pertença a União, há uma falta de comprometimento do governo nas edificações antigas, principalmente nesta

edificação, pois não é feito nenhum reparo há, aproximadamente, 8 anos. Assim, pode se chegar a danos maiores e agravamento das anomalias em toda a estrutura se não houver uma intervenção imediata.

5.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.

A seguir, apresento algumas sugestões para pesquisas futuras que poderão dar sequência a este trabalho.

- Estender a metodologia para a avaliação de elementos não estruturais, como as fachadas e divisórias.
- Aplicar o uso da câmera térmica na tubulação dos banheiros e copas.
- Utilização desta Metodologia com o propósito de expandir a consolidação da mesma.

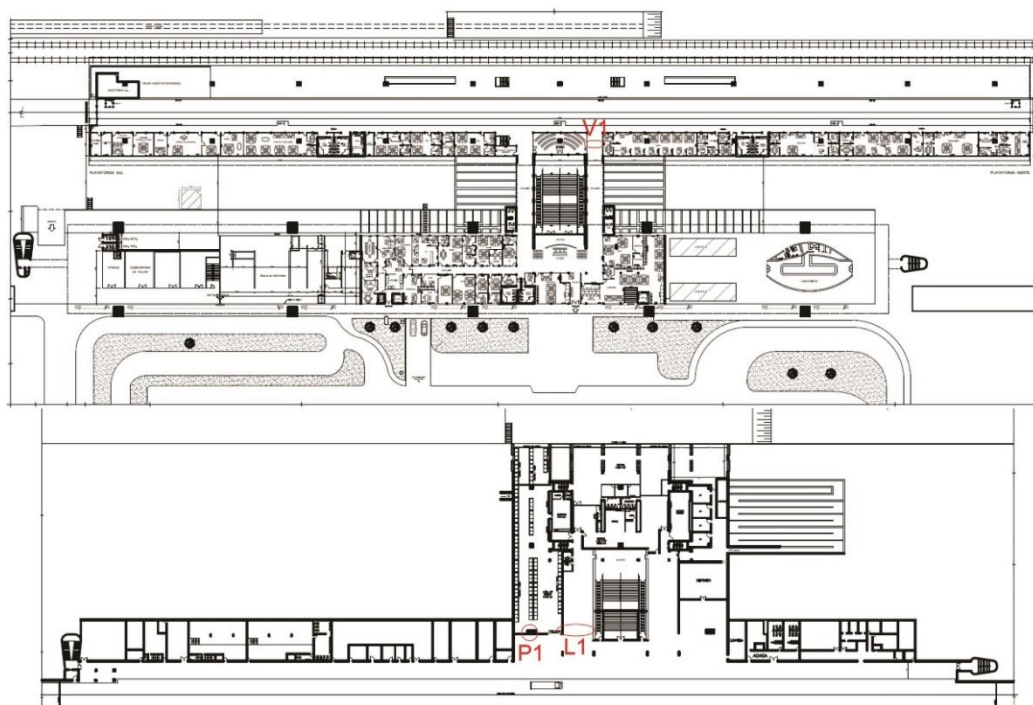
ANEXO A1

VIGA (V1) – (6 danos): Localizado no térreo e identificado em estado crítico.

PILAR (P1) – (6 danos): Localizado no subsolo e identificado em estado crítico.

LAJE (L1) – (6 danos): Localizado no subsolo e identificado em estado crítico.

Figura 34- Anexo A1



Fonte: Autor (2018)

REFERÊNCIAS

AEC WEB, disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont.br/m/rev/patologias-doconcreto 6160 10 0>

BOLDO, P. Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.

CASTRO, E. K. Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185p.

CAPELLO, A. et al. Patologias das fundações. 2010. 115f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade Anhanguera de Jundiaí, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/54137409/PATOLOGIA-DE-FUNDACOES-TCC>.

Falta de manutenção é o principal fator que compromete as estruturas de prédios. Outubro de 2017. Disponível em: <http://domtotal.com/noticia/1200184/2017/10/falta-de-manutencao-e-o-principal-fator-que-compromete-as-estruturas-de-predios/>

FONSECA, R. P. A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenção e Propostas de Manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2007. 213p.

LANG, Geovane. Fundamentos das Manifestações Patológicas nas Construções. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 9. Ano 02, Vol. 05. 2017. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/patologicas-nas-construcoes>

LOPES, B. A. R. Sistema de Manutenção Predial para grades Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308p.

MENDONÇA, L. V. A Termografia por Infravermelhos como Ferramenta para Auxílio a Inspeção e Manutenção dos Edifícios. 2008. Revista Engenharia & Vida. **RODRIGUES, C. A. Principais Manifestações Patológicas – UFRGS - 2013 – Porto Alegre.** Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/78205>.

SILVA, B. F. **Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil** – Artigo, Edição 174, setembro 2011.
<<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/174/artigo285892-2.aspx>>.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

TUUTTI, K. **Corrosion Steel in Concrete**. Swedich Cement and concrete. Research Institute, Stockholm, 1982.

VERLY, R. C. **Avaliação de Metodologias de Inspeção como Instrumento de Priorização de Intervenções em Obras de Arte Especiais**. 2015. Xix, 178 f., it. Dissertação Mestrado em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.